

Встановлення ефективності очищення молокопроводу від забруднення за різного виконання

А. П. Палій, Е. Б. Алієв, А. П. Палій, О. Л. Нечипоренко, Ю. В. Байдевятова, Ю. А. Байдевятов, А. Б. Лазоренко, В. В. Уховський, Л. Є. Корнієнко, П. В. Шарандак

Проходячи по молокопровідним системам доїльної установки, молоко контактує з внутрішньою поверхнею, площа якої становить понад 20 м². При цьому утворюються білково-жирові біоплівки забруднень, які є поживним середовищем для розвитку мікроорганізмів. При недостатньо ефективному очищенню цих забруднень, в періоди між доїннями, чисельність мікрофлори, що знаходиться в молокопровідних системах, збільшується в десятки тисяч разів.

При очищенні малоефективними мийними засобами на поверхні білково-жирової біоплівки адсорбуються мінеральні елементи з молока, які згодом ущільнюються, видозмінюються і перетворюються в молочний камінь. І провідне значення при цьому належить технічному виконанню молокопровідних систем.

Встановлено, що молокопровід з будь-якого матеріалу краще очищається більш гарячим мийним розчином, ніж холодним. Так, при збільшенні температури мийного розчину від 60 °С до 85 °С час очищення молокопроводу скорочується з 9,5 хв до 1,5 хв або в 6 разів.

Встановлено, що за час фази миття молокопроводу відбувається значне зменшення температури мийного розчину (≈30 %), що знижує ефективність очищення деталей системи. Тому виникає необхідність підтримки температури розчину протягом процесу очищення.

Доведено, що питома енергія адгезії забруднення у воді в 2 рази вище, ніж в мийному розчині. З підвищенням температури розчину на кожні 10 °С зниження питомої енергії адгезії забруднень складає в середньому 13 %. Зі збільшенням проміжку часу після закінчення доїння до початку миття молокопроводу питома енергія його очищення підвищується.

Проведені дослідження зумовлюють підвищення продуктивності доїльних установок і якості одержуваної продукції. Відбувається це в напрямі новостворювання доїльно-молочного обладнання з інноваційних матеріалів.

Ключові слова: доїльне обладнання, процес очищення, промивання молокопроводу, мийний розчин, адгезія забруднення.

1. Вступ

Молоко, отримане в умовах недотримання санітарних режимів виробництва, окрім підвищеного бактеріального обсіменіння, буде мати дуже низьку ступінь механічної чистоти. Як результат активної життєдіяльності мікрофлори, яка виділяє молочну кислоту, кислотність такої сировини при

зберіганні різко підвищується. Щільність молока в цьому випадку знижується у зв'язку з переходом частини більш щільного молочного цукру в менш щільну молочну кислоту. Отже, молоко, яке отримане при недотриманні санітарно-гігієнічних режимів виробництва, не може відповідати вимогам ні за одним з показників, які пред'являються переробними підприємствами до високоякісної сировини [1–3].

Санітарно-гігієнічна якість виробництва молока – комплексна проблема, яка визначається рядом чинників, які об'єднуються поняттям «технологія та культура виробництва». Однак можна виділити чинник, який має домінуючий вплив на якість – це санітарно-гігієнічний стан доїльного обладнання [4].

На разі актуальним вважається виробництво високоякісного, безпечного молока за використання сучасних високотехнологічних засобів та методів [5].

Також одним з актуальних питань є відсутність інформації щодо впливу мийних розчинів на доїльно-молочне обладнання, зокрема молокопроводів різного виконання.

Таким чином, необхідність даних досліджень полягає у встановленні ефективності очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення за різного виконання молокопроводу.

Такий підхід дасть можливість здійснювати ефективне очищення доїльно-молочного обладнання. Це дозволить підвищити продуктивність доїльних установок і якості одержуваної продукції. Поряд з цим, це дасть змогу розкрити механізм взаємодії забруднення з внутрішньою поверхнею молокопроводу, що має як теоретичний, так і практичний інтерес.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Забруднюється доїльно-молочне обладнання, переважно, жиром та білком молока. Жир не лише міцно утримується на поверхні, але й сприяє приклеюванню білкових та мінеральних частинок молока. Утримання забруднення на обладнанні залежить від матеріалів, з яких воно виготовлене, а також від якості обробки поверхні (її шорсткості). Триваліше забруднення утримується на обладнанні з алюмінію та пластмаси, менше – на склі та нержавіючій сталі. У матеріалів із гладкою поверхнею щеплення з частками забруднення найменше, у пористих та шорсткуватих – найбільше. Залишки жиру легко адсорбуються гумовими деталями обладнання [6]. В роботах [7, 8] зазначається, що якщо своєчасно не провести очисні заходи, жир легко проникає через пори вглиб деталей, через що відбувається втрата первинних властивостей гумових елементів. Поряд з цим, зазначена проблема має науково-прикладний характер у напрямі подальшого використання елементів, виконаних з гуми за тривалістю їхньої експлуатації.

На разі вивчені та розроблені класичні основи теорії адгезії і змочування. Це природа адгезійної взаємодії, залежність адгезії від властивостей контактуючих твердих поверхонь, параметри, що характеризують ці процеси, й деякі інші явища в простих рідких середовищах. Однак натуральне молоко – це складна рідка полідисперсна система, що містить безліч взаємопов'язаних

структурних утворень у вигляді жирових кульок різних розмірностей, молочних тілець, білків, колоїдних частинок та йонів розчинних солей.

За недбалого та нерегулярного промивання доїльних установок та молочного обладнання забруднення постійно накопичуються та утримуються на стільки міцно, що видалити їх без спеціальних засобів неможливо [9]. Наявність даної проблеми потребує наукового підходу у її вирішенні. Це може відбуватися за розробки та застосування новітніх технологічних рішень з видалення забруднення та удосконалення технологій очищення.

Через значну кількість з'єднань між молокопроводами, їх малий діаметр, віддаленість від доїльних апаратів в ланцюгу транспортування молока та різкі вигини профілю забезпечити задовільний санітарно-гігієнічний стан доїльних установок вкрай важко [10]. Труднощі в очищенні, що зазначено в роботі [11], полягають в застосуванні пластикових та гумових з'єднувальних труб, доступі повітря в замкнену систему доїння та транспортування, недостатньому об'ємі приймальної камери колектора. Поряд з цим, сильний гідродинамічний вплив на молоко в процесі транспортування по молокопроводу, відсутність автомату промивання охолоджувального танку та багато інших чинників сприяють інтенсивному утворенню важковидалежого забруднення.

Ефективність промивання можлива за такої швидкості течії мийного розчину, яка достатня для відриву та виносу потоком частинок забруднення, що зазначено у [12]. У [13] наголошується, що величина швидкості, необхідної для відриву частинок, залежить від їх розмірів, щільності та форми, шорсткості поверхні, яка піддається очищенню, якості мийної рідини, величини розрідження, гідравлічних параметрів ліній тощо. За необґрунтовано значної швидкості руху рідини збільшуються енергетичні затрати на перекачування розчину [14]. Зазначена проблематика вирішується за впровадження удосконалених технологічних операцій з очищення.

Разом із цим, з метою досягнення максимального результату миття, використовують щітки різних моделей.

Необхідно зазначити, що відносно швидкості руху мийного розчину, який би відповідав найбільш ефективному промиванню молокопроводів доїльних установок, єдиної думки немає.

З метою інтенсифікації перемішування розчину, що здійснює значний вплив на швидкість видалення забруднень, пропонується встановлювати в молокопроводі спеціальні дросельні шайби [15]. На інтенсивність перемішування мийного розчину, а отже, і якість промивання, здійснюють ефективний вплив створювані різними пристроями пульсації потоку [16].

Провідне значення для ефективного промивання системи мають режими циркуляції рідини [17]. Доведено [18], що висока якість очищення може бути досягнута при розвиненому турбулентному режимі течії мийної рідини з великими швидкостями. В цьому випадку створюються найбільш сприятливі умови для механічної дії потоку на частинки забруднення. За даними [19] якість промивання молокопроводів доїльних установок прямопропорційна температурі мийного розчину. При підвищенні температури зростає фізико-хімічна активність мийного розчину, знижується енергія адгезії на границі

розділу фаз (мийний розчин – забруднення), знижується кінематична його в'язкість, і як наслідок, збільшується турбулентність [20]. Також відмічається [21], що підвищення температури вище 60 °C не викликає помітного збільшення мийних властивостей, і з цієї причини температурний режим промивання близький до цього значення. Звичайно, що температура в різних точках молокопроводу неоднакова, змінюється в міру проходження гарячого розчину через нього. Якщо систему замкнути і надходження тепла зовні не відбувається, то циркулюючий розчин поступово охолоджується, а ефективність промивання знижується.

Проте, у будь-якому випадку, можна стверджувати, що температурний режим прямопропорційний температурі, об'єму розчину, що надходить і температурі довкілля та оберненопропорційний довжині молокопроводу.

Думка дослідників щодо температурного режиму при промиванні доїльних установок розділилась. Так, в роботі [22] зазначено, що ефективне промивання можливе при температурі розчину не нижче 85 °C. Поряд з цим, в роботі [23] відмічається, що промивання повинно здійснюватися при температурі розчину 70–80 °C. Деякі фірми (DeLava, BouMatic), що займаються виробництвом доїльних установок, рекомендують здійснювати очищення молокопроводів розчинами з температурою не нижче 77 °C.

Водночас дослідниками було встановлено, що зі збільшенням часу промивання якість очищення покращується. Доведено [24], що циркуляційне промивання молокопровідних систем за наявності значної кількості деталей та вузлів з алюмінію повинно тривати від 10 до 20 хв. Поряд із цим, фірми-виробники (GEA Farm Technologies, Lely) доїльно-молочного обладнання рекомендують час обробки в діапазоні 5–30 хв. [25].

Кардинальним способом підтримки необхідного санітарно-гігієнічного стану доїльно-молочного устаткування є застосування високоефективних засобів санітарної обробки [26].

Зазначається [27], що для санітарної обробки доїльних апаратів, молокопроводів та іншого технологічного доїльно-молочного обладнання все більш широко використовують препарати, які мають одночасно мийні і дезінфікуючі властивості. На ринку присутня велика кількість даних засобів, що створює підґрунтя до наукового дослідження їх впливу на доїльно-молочне обладнання.

Акцентується [28], що використання хімічних засобів різного типу залежить від методу промивання. Дезінфекція може проводитись спеціальними засобами як окрема операція, або об'єднуватися з циркуляційним промиванням, якщо використовуються комплексні мийні засоби. Кислота може також використовуватись як дезінфікуючий засіб [29].

На разі розроблені високоефективні мийні, мийно-дезінфікуючі засоби і режими їх використання для санітарної обробки всього комплексу молочного обладнання [30, 31]. Але єдина думка щодо режимів очищення за використання сучасних мийних засобів відсутня.

Отже, процес очищення є однією з найважливіших технологічних операцій, від ефективності виконання якої залежить рівень первинної забрудненості молока.

Таким чином, рішення проблеми підвищення санітарної якості молока вимагає дослідження, доопрацювання й вдосконалення ключових положень та елементів системи технологічних заходів й технічних засобів з обслуговування доїльно-молочного обладнання. Зазначене представляє як науковий, так й практичний інтерес.

3. Мета і завдання дослідження

Мета дослідження полягає у встановленні ефективності очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення за різного виконання молокопроводу. Це дозволить підвищити продуктивність доїльних установок і якості одержуваної продукції.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- експериментально встановити якість очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення за його циркуляційному промиванні;
- встановити динаміку зміни температури рідини за її циркуляції в молокопроводі;
- визначити питому енергію миття молокопроводу.

4. Матеріали та методи дослідження

4.1. Методика встановлення якості очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення за його циркуляційному промиванні

Дослідження якості очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення проводилися у виробничих умовах. За фактори дослідження обрано: матеріал доїльно-молочного обладнання (нержавіюча сталь, полімер, гума, скло, алюміній), вид мийного розчину (сірчана кислота, розчин Блюра, лужний розчин CleanCowBASE на основі гідроксиду натрію та активного хлору), температура мийного розчину (від 60 °C до 85 °C), швидкість мийного розчину (від 1 м/с до 8 м/с).

Температура мийного розчину встановлювалась з використанням нагрівача і контролювалась за допомогою датчика температури DS18B20. Швидкість мийного розчину встановлювалась за допомогою насоса і контролювалась шляхом вимірювання об'ємних витрат рідини з використання датчика витрат рідини Elecrow і подальшого перерахунку. Зазначені датчики були підключені до Тестера доїльних установок v. 2.0 (розробник – Алієв Е.Б.), який представлено на рис. 1.



a



б



в

Рис. 1. Обладнання для проведення досліджень: *a* – Тестер доїльних установок v. 2.0; *б* – датчик температури DS18B20; *в* – датчик витрат рідини Elecrow

З метою встановлення якості очищення молокопроводу використовувався розроблений пристрій і відповідна методика [32]. Розроблений пристрій для визначення якості промивання (рис. 2) представляє собою трубку, яка встановлюється на прямій ділянці молокопроводу за допомогою з'єднувальних муфт. В трубці зроблено перпендикулярний до її осі отвір, який заглушається пробкою з закріпленою в ній предметною пластиною. З протилежних сторін предметної пластини встановлені світлодіод 1W 100 Lm (Китай) і фоторезистор ФР1-3 (Китай) 47 кОм, які через змінний резистор 10 кОм і резистор 10 кОм відповідно підключені до плати Arduino Uno (Китай). Arduino Uno через роз'єм зовнішнього живлення приєднана до блока живлення 12–24 В, а через USB-роз'єм підключене до персонального комп'ютера. На персональному комп'ютері встановлено програмне забезпечення для фікції напруги аналогового сигналу отриманого з фоторезистора ФР1-3. Для абсолютно чистої предметної пластини фіксовані дані відповідають 100 %. При проходженні молока по молокопроводу пластина забруднюється і фоторезистор ФР1-3

поглинає менше світла від світлодіода 1W 100 Lm, тим самим зменшується значення напруги аналогового сигналу. Для абсолютно не проникливої пластини дані відповідають 26 %. Це пов'язано із можливістю огинання світла предметної пластини і віддзеркалення його від стінок молокопроводу. В свою чергу, при проходженні миючого розчину по молокопроводу, предметна пластина очищається, що дає можливість збільшення інтенсивності поглинання світла фоторезистором ФР1-3. За критерій оцінки якості очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення було обрано інтенсивність миття. Зазначений показник визначався як тривалість процесу очищення обладнання до встановленого рівня пропускання світла через предметну пластину до фоторезистора ФР1-3 на рівні більше 95 %.

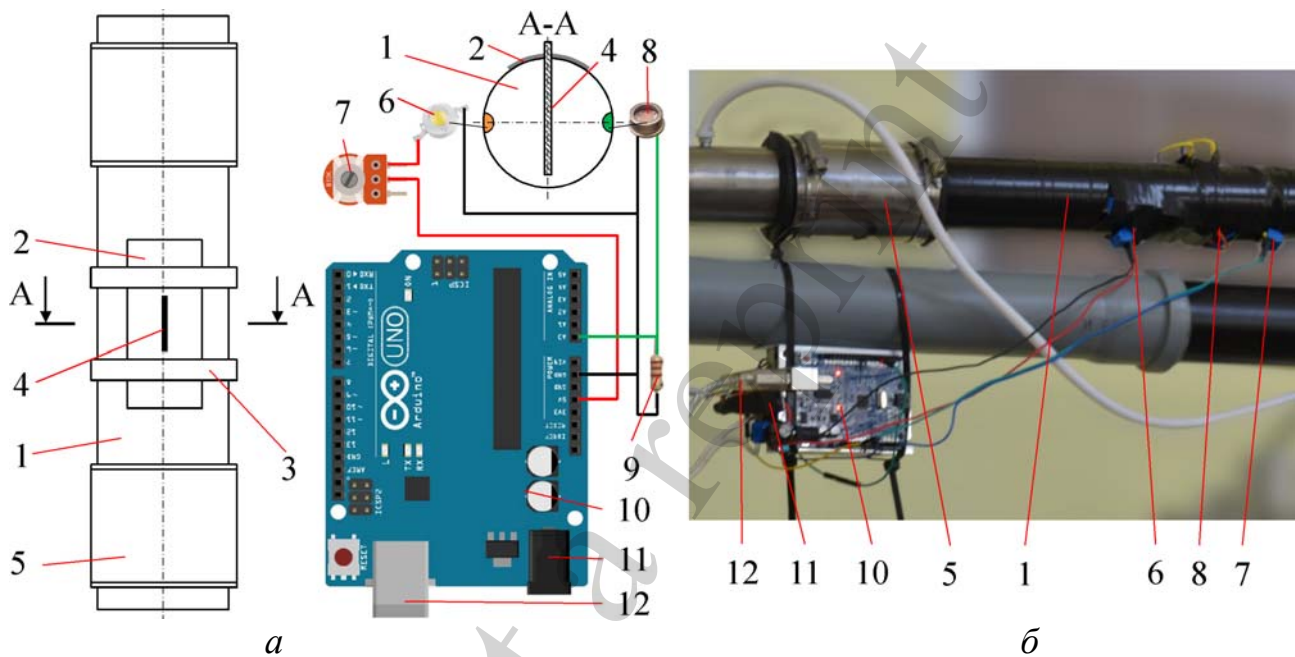


Рис. 2. Пристрій для визначення якості промивання молокопровідної лінії: *а* – конструктивна схема; *б* – загальний вигляд: 1 – ділянка труби; 2 – пробка; 3 – хомути для кріплення пробки; 4 – предметна пластина; 5 – з'єднувальні муфти; 6 – світлодіод 1W 100 Lm; 7 – змінний резистор 10kΩ; 8 – фоторезистор ФР1-3 47 кОм; 9 – резистор 10 кОм; 9 – плата Arduino Uno; 10 – роз'єм зовнішнього живлення 12–24 В; 10 – USB-роз'єм для підключення до персонального комп'ютера

Контроль ступеня очищення молокопроводу при прополіскуванні проводився за методикою [33]. Згідно з методикою, контроль відбувався за змістом в залишених забрудненнях молокопроводу білкових складових. Залишки забруднень за методикою переводилися в розчині Бюра або сірчаної кислоти в залежності від матеріалу молокопроводу.

4. 2. Методика встановлення динаміки зміни температури рідини за її циркуляції в молокопроводі

Ефективність миття доїльно-молочного обладнання в значній мірі залежить від температури мийних рідин та їх стабільності протягом часу миття. У зв'язку з цим, одним з напрямків досліджень було визначення залежності інтенсивності миття молокопроводу від температури мийного розчину.

Процес миття молокопроводу включає в себе два температурні режими. Перший режим – в початковій і кінцевій фазі миття при прополіскуванні молокопроводу для змиву залишків молока відразу після доїння і після його миття мийними та дезінфікуючими розчинами. Другий – в фазі миття та дезінфекції з пульсуючою подачею повітря в нього.

Температура мийного розчину в різних точках молокопровідної лінії визначалася з використанням електронного термометра ТМ-32/Н-5Т (Україна) із системою температурних зондів на основі датчиків температури DS18B20. Електронний термометр ТМ-32/Н-5Т було підключено до персонального комп'ютера для збору і обробки отриманих даних (рис. 3).

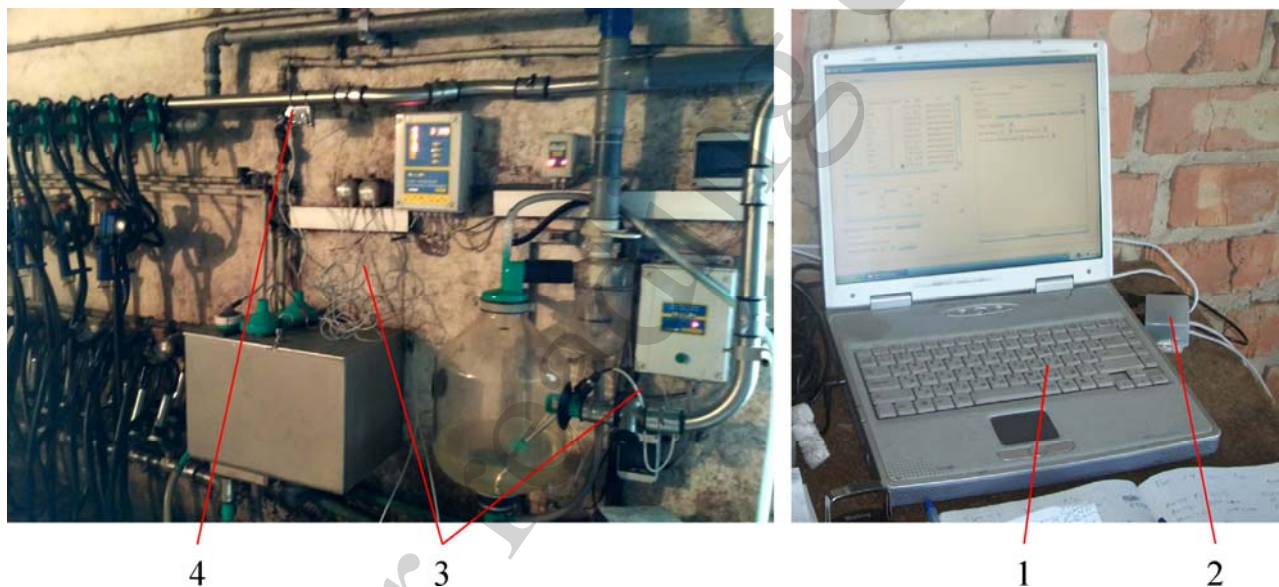


Рис. 3. Вимірювання температури і якості очищення молокопроводу: 1 – електронний термометр ТМ-32/Н-5Т; 2 – персональний комп'ютер; 3 – система температурних зондів на основі датчиків температури DS18B20; 4 – пристрій для визначення якості промивання молокопровідної лінії

Досліди проводилися в два етапи. На першому етапі мийний розчин в процесі циркуляції додатково не підігрівався. Вимірювалися через кожну хвилину дані про температуру розчину і швидкість його циркуляції. Варіювалася витрата води на миття в межах 20–40 л через кожні 5 л і час миття в межах 5–30 хв через кожні 5 хв. На другому етапі бак дообладнувався нагрівачами води з термореле, що підтримують температуру мийної рідини з коливаннями в межах $\pm 1^{\circ}\text{C}$ від встановленої величини. У досліджах варіювали температурою води в межах 55–85 $^{\circ}\text{C}$ з інтервалом 5 $^{\circ}\text{C}$, часом миття і витратою води в тих же межах і інтервалах, що і в першому досліді.

4. 3. Методика визначення питомої енергії миття молокопроводу

В якості миючих розчинів для досліджування впливу на питому енергію адгезії білково-жирових забруднень молокопроводу застосовували лужний засіб CleanCowBASE (Польща) та засіб ПЗ-хороліт 2000 фірми ECOLAB (Україна).

Кратність досліджень прийнята рівною п'яти ($n=5$). Відносна похибка середнього значення вимірювальної величини склала $\pm 1\%$.

Адгезійна міцність білково-жирових забруднень визначалася за [28]. За даною методикою адгезійна міцність визначалася з урахуванням рельєфу поверхні, міжфазної поверхневої енергії, змочування та інших поверхневих явищ, а також з врахуванням умов формування контакту (тиску, температури, тривалості контакту тощо).

5. Результати дослідження ефективності очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення

5. 1. Встановлення якості очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення за його циркуляційного промивання

В дослідах за якістю очищення вставки в молокопровід з різних матеріалів кращі показники циркуляційного миття із загальноприйнятими заводськими інструкціями режиму очищення (5 хв попереднє ополіскування+15 хв циркуляційного миття розчином CleanCowBASE+5 хв заключного промивання) отримані для скла та нержавіючої сталі, гірше для алюмінію і гумового виробу (рис. 4).

За результатами обробки даних графіків (рис. 4) отримані наступні рівняння регресії:

– нержавіюча сталь:

$$t = -0.1198 T + 10.214, R^2 = 0.9974; \quad (1)$$

– скло:

$$t = -0.149 T + 12.981, R^2 = 0.9949; \quad (2)$$

– полімери:

$$t = -0.1424 T + 13.642, R^2 = 0.9936; \quad (3)$$

– гума:

$$t = -0.1456 T + 15.067, R^2 = 0.9893; \quad (4)$$

– алюміній:

$$t = -0.1049 T + 13.825, R^2 = 0.9941, \quad (5)$$

де T – температура мийного розчину, $^{\circ}\text{C}$; t – тривалість очищення молокопроводу, хв.

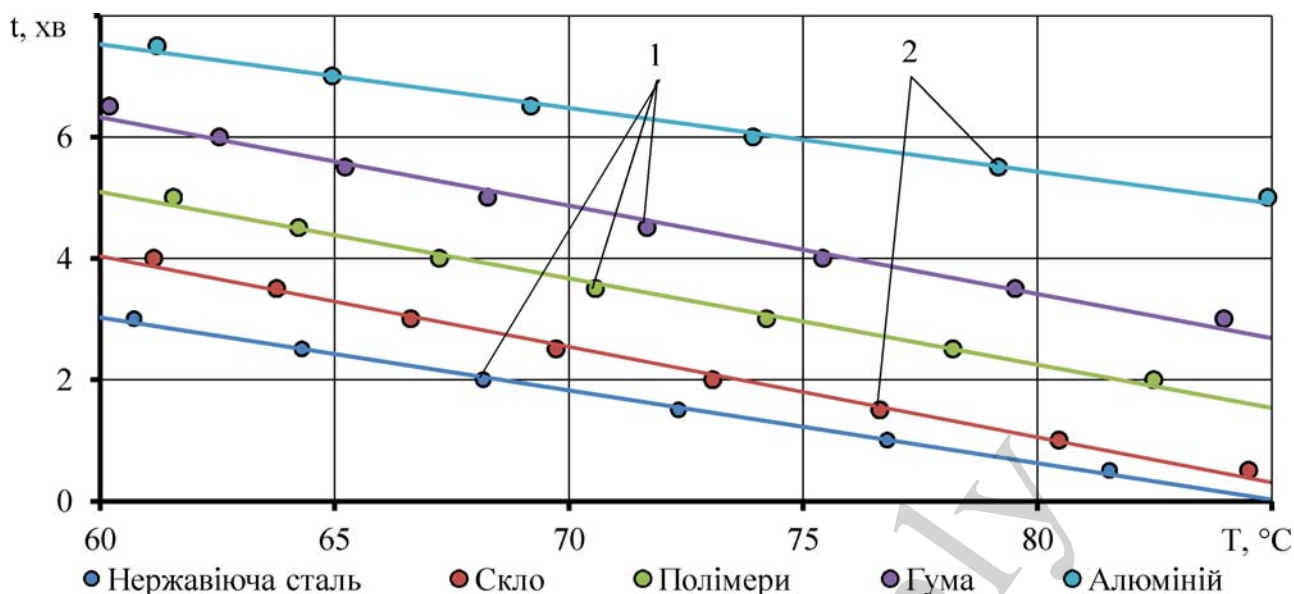


Рис. 4. Залежність тривалості очищення молокопроводу з різних матеріалів від температури мийного розчину при його швидкості $V=2$ м/с: 1 – змив сірчаної кислоти; 2 – змив розчину Блюра

Молокопровід з будь-якого матеріалу краще очищається при будь-якому митті більш гарячим мийним розчином, ніж холодним. Так при збільшенні температури розчину мийного засобу CleanCowBASE від 60°C до 85°C час очищення молокопроводу скорочується з 9,5 хв до 1,5 хв або в 6 раз.

Найгірше в досліді очищалися ділянки молокопроводу (а отже, і деталі молочної лінії) з алюмінію харчового.

В процесі миття молокопроводу білкові і мінеральні складові частини відмиваються досить швидко, важче видаляються жирові складові, особливо в підсохлих конгломератах. Під дією мийного розчину жирові забруднювачі гідролізуються більш інтенсивно зі збільшенням температури розчину і часу його циркуляції в молокопроводі. Підсохлі ділянки забруднень і плівка з них видаляються, в основному, швидкісним напором потоку розчину з подальшим дробленням в процесі транспортування.

За даними рис. 5 збільшення швидкості циркуляції мийного розчину в молокопроводі сприяє скороченню тривалості його очищення до зоотехнічних норм чистоти внутрішньої поверхні. При цьому ділянки, виконані з алюмінію і гуми, очищаються значно довше. Це пояснюється не тільки значною шорсткістю їх внутрішніх поверхонь, але й більш сильними адгезійними властивостями, що дає підставу рекомендувати використовувати їх в якості деталей молочної лінії лише в крайніх випадках.

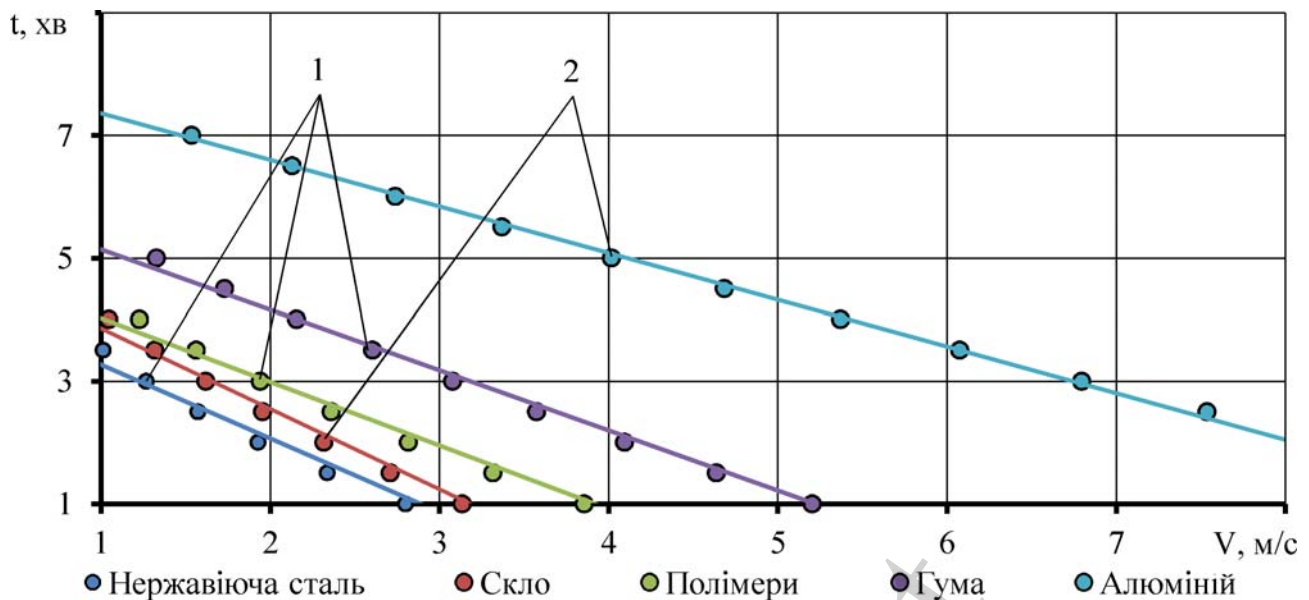


Рис. 5. Залежність тривалості миття молокопроводу від швидкості мийного розчину при її температурі $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1 – змив сірчаної кислоти; 2 – змив розчину Блюра

Рівняння регресії залежності тривалості миття молокопроводу від швидкості мийного розчину мають вигляд (рис. 5):

– нержавіюча сталь:

$$t = -1.2023 V + 4.4727, R^2 = 0.9841; \quad (6)$$

– скло:

$$t = -1.3106 V + 5.1708, R^2 = 0.9917; \quad (7)$$

– полімери:

$$t = -1.0352 V + 5.0576, R^2 = 0.9909; \quad (8)$$

– гума:

$$t = -0.9799 V + 6.1183, R^2 = 0.9958; \quad (9)$$

– алюміній:

$$t = -0.7589 V + 8.1204, R^2 = 0.9985. \quad (10)$$

За результатами даних досліджень раціональні режими миття деталей молокопроводу з різних матеріалів знаходяться в межах, зазначених в табл. 1.

Таблиця 1

Рациональні режими миття молокопроводу, виготовленого з різних матеріалів (засобом CleanCowBASE)

Матеріал ділянки молокопроводу	Температура мийного засобу T , °C	Швидкість розчину V , м/с	Тривалість миття до чистоти гарної якості t , хв
Сталь нержавіюча	60,7–81,6	1,0–3,9	0,5–3,0
Скло	61,2–84,5	1,0–4,1	0,5–4,0
Алюміній	61,2–84,9	1,0–7,5	5,0–7,5
Гума	60,2–84,0	1,3–6,4	3,0–6,5
Полімер	61,6–82,5	1,2–5,1	2,0–5,0

Це раціональні параметри. Але все ще не враховується та обставина, що верхня частина молокопроводу омивається потоком мийної рідини слабкіше, ніж нижня, і очищається від забруднень в зв'язку з цим гірше. Усунення цього явища можливо шляхом посилення пульсації потоку мийної рідини в корковому режимі течії періодичною подачею в молокопровід повітря атмосферного тиску за допомогою пневмоклапана.

5. 2. Встановлення динаміки зміни температури рідини за її циркуляції в молокопроводі

Під час процесу промивання температура рідини в кінці молокопроводу залежить в основному від тривалості прополіскування (табл. 2). Зазначені вихідні дані отримані за використання сучасного обладнання (рис. 3).

Таблиця 2

Вплив часу прополіскування молокопроводу в першій фазі миття на температуру зливаючої з нього рідини

Тривалість прополіскування $t_{\text{проп.}}$, с	Температура води на злив із системи після прополіскування $T_{\text{проп.}}$, °C
60±2,5	25±1
120±2,5	27±1
180±2,5	29±1
240±2,5	32±1
300±2,5	35±1

При скороченні тривалості прополіскування молокопроводу температура води на виході з системи зменшується майже в 1,5 рази. При цьому значна частина тепла витрачається на нагрів деталей молочної лінії. При подальшому збільшенні тривалості прополіскування до 5 хв температура води на злив підвищується до 35 °C.

Така закономірність зміни температури промивної води спостерігалася при різних температурах води: 20, 30, 40 °C. Вода з більшою температурою в

початковій фазі миття не використовувалася, так як це негативно позначається на якості процесу прополіскування і змиву білкових складових забруднень.

Зменшення температури води під час прополіскування після циркуляційного миття менш значимо. Це пов'язано з тим, що знижуються втрати тепла на нагрів деталей системи.

Для якісного проведення фази миття та дезінфекції необхідно збереження стабільності температурного режиму протягом циркуляції розчину по всій довжині молокопроводу.

У дослідях використовувався мийний засіб CleanCowBASE. Вихідна температура розчину приймалася рівною 60, 70, і 80 °С, температура в приміщенні становила 24 °С. У першій серії дослідів мийний розчин в досліджуваній системі не підігрівався. Результати вимірювань при початковій температурі 70 °С представлені на рис. 6, а відповідні апроксимовані рівняння мають вигляд:

– з підігрівом:

$$T = -6.937 \ln(t) + 102.18, R^2 = 0.9949; \quad (11)$$

– без підігріву:

$$T = -9.192 \ln(t) + 112.05, R^2 = 0.9977. \quad (12)$$

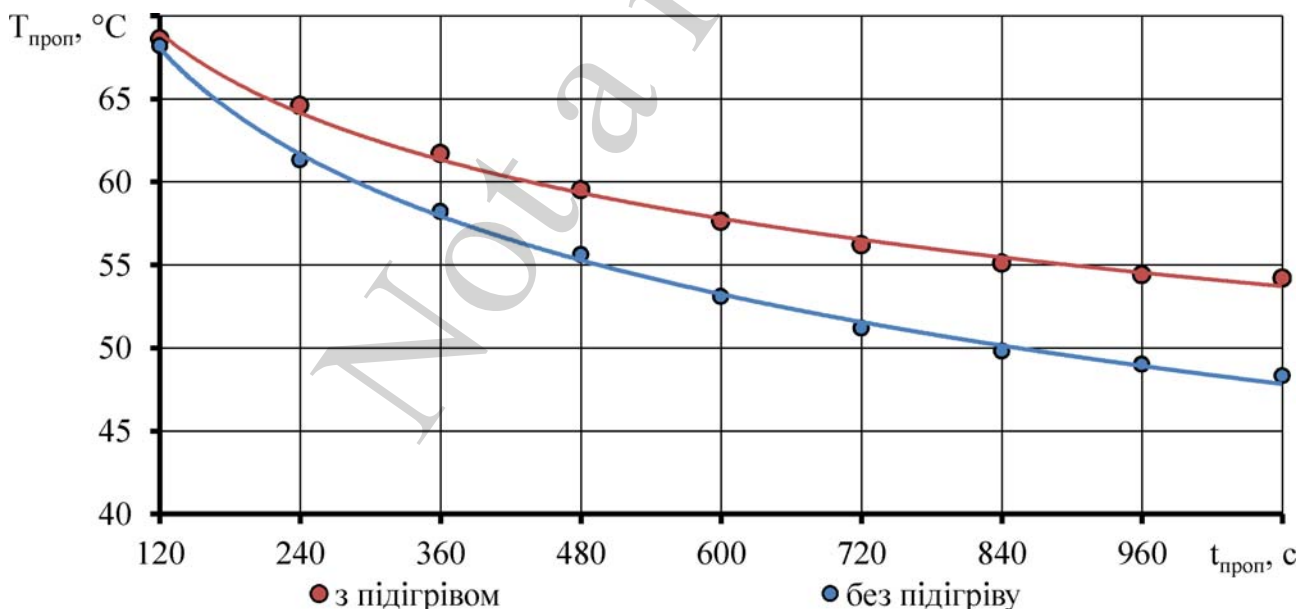


Рис. 6. Закономірності зміни температури мийного розчину в процесі його циркуляції

За час фази миття молокопроводу відбувається значне зменшення температури мийного розчину ($\approx 30\%$), що знижує ефективність очищення деталей системи. Тому виникає необхідність підтримки температури в певних

межах з метою підвищення якості промивання. Це можна здійснювати за допомогою вмонтованих електронагрівачів.

У подальших дослідках забезпечувався підігрів мийного розчину за допомогою електронагрівачів в забірній ємності до температури 70 °С. При використанні електронагрівачів температура мийного розчину на зливі в ванну вища, ніж в перших дослідках без підігріву розчину. Це дозволяє більш інтенсивно здійснювати промивання молокопроводу, однак режими його миття можуть бути різними як за тривалістю миття, так і за показниками швидкості потоку і його температури.

5. 3. Визначення питомої енергії миття молокопроводу

Енергетичні витрати на очищення молокопроводу залежать від адгезії білково-жирових забруднень до його внутрішньої поверхні. Питома енергія адгезії у використовуваній молочній лінії знаходиться в прямій залежності від матеріалу деталей цієї лінії, властивостей забруднювачів, складу мийного розчину і його температури.

Наведені в табл. 3 розрахункові величини (проведені за [28]) питомої енергії адгезії білково-жирових забруднень до молокопроводу з різних матеріалів показують, що її величина з підвищенням температури розчину мийних засобів знижується. Це зниження становить в середньому 13 % на кожні 10 °С підвищення температури розчину.

Таблиця 3

Вплив температури мийних розчинів на питому енергію адгезії білково-жирових забруднень молокопроводу

Матеріал молокопроводу	Температура розчину в °С мийного засобу					
	CleanCowBASE			ПЗ-хороліт 2000		
	60±1	70±1	80±1	60±1	70±1	80±1
	Питома енергія адгезії, 10 ⁻³ Дж/м ²					
Нержавіюча сталь	2,7±0,1	2,2±0,1	2,0±0,1	3,0±0,1	2,5±0,1	2,2±0,1
Алюміній	7,5±0,2	6,2±0,3	5,5±0,3	7,9±0,4	7,4±0,4	7,0±0,3
Гума	5,7±0,4	4,6±0,1	4,2±0,3	6,1±0,3	5,3±0,2	4,7±0,2
Скло	4,8±0,2	3,9±0,1	3,5±0,1	5,2±0,3	4,5±0,1	4,1±0,2

Питома енергія адгезії забруднювача у воді майже в 2 рази вища, ніж в мийному розчині, чим пояснюється погана відмиваємість молокопроводів чистою водою.

Зі збільшенням проміжку часу після закінчення доїння корів до початку миття молокопроводу питома енергія його очищення підвищується (рис. 7). Відповідні апроксимовані рівняння мають вигляд:

– нержавіюча сталь:

$$W=0.0017 t^2-0.0518t+3.2167, R^2=0.9948; \quad (13)$$

– гума:

$$W=0.0013 t^2+0.0103 t+7.0524, R^2=0.996. \quad (14)$$

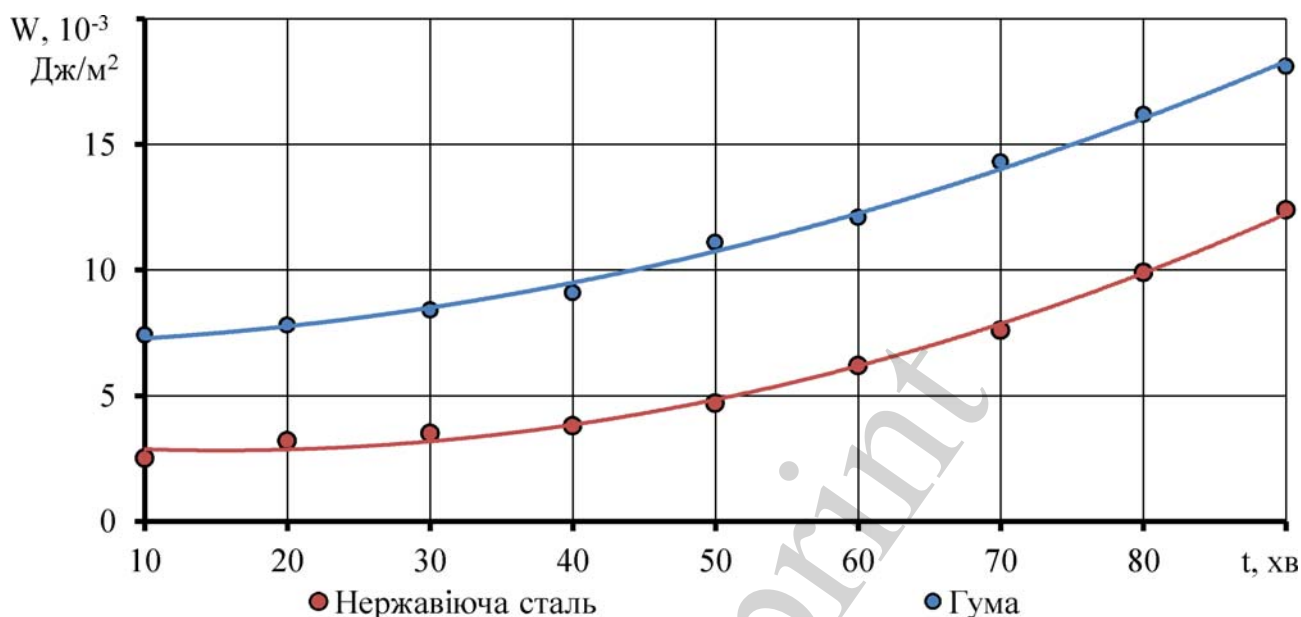


Рис. 7. Залежність питомої енергії миття молокопроводу від часу витримки його в забрудненому стані до початку очищення

Це збільшення має провідне значення при великих проміжках часу до початку миття молокопроводу і, особливо, для його ділянок, виконаних з важко відмиваємих матеріалів. Зазначене свідчить про неприпустимість значних відстрочок в догляді за молочною лінією доїльної установки після доїння корів.

6. Обговорення результатів дослідження ефективності очищення доїльно-молочного обладнання

Аналіз численних експериментів [34–36] свідчить про те, що очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення, ніж будь-який інший фактор, впливає на якість одержуваної продукції та продуктивність установок.

На первинному етапі досліджень було поставлено за мету встановити якість очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення за його циркуляційного промивання. Під час проведення досліджень застосовувалася оригінальна методика, якою передбачалося застосування інноваційного пристрою (рис. 2). За результатами досліджень встановлені раціональні режими миття деталей молокопроводу (табл. 1). Одержані результати виявляють механізм взаємодії мийного засобу з елементами доїльно-молочного обладнання, які виконані з різних матеріалів. Так, виявлена залежність тривалості очищення молокопроводу з різних матеріалів від температури мийного розчину (рис. 4) та залежність тривалості миття молокопроводу від швидкості мийного розчину (рис. 5). Завдяки цьому вирішується задача у раціональному підборі та застосуванні мийних засобів.

В роботах [37, 38] зазначається, що на ефективність промивання доїльно-молочного обладнання значний вплив здійснює шорсткість матеріалу, з якого виконаний молокопровід та мікробна адгезія. Перевагами проведених досліджень перед зазначеними є виявлення відмінностей у очищенні елементів доїльного обладнання, виконаного з різних матеріалів. Це в повній мірі розкриває картину протікання процесу очищення доїльно-молочного обладнання.

На наступному етапі встановлювали динаміку зміни температури рідини за її циркуляції в молокопроводі. На рис. 3 наведене застосовуване при цьому інноваційне технічне рішення. Дослідженнями встановлено вплив часу прополіскування молокопроводу в першій фазі миття на температуру зливаючої з нього рідини (табл. 2) а також закономірність зміни температури мийного розчину в процесі його циркуляції (рис. 6). Отримані результати розширюють розуміння процесів, які протікають під час промивання молокопровідної лінії та дозволяють виявити їх вплив на температурні показники мийного розчину.

В роботі [39] увага акцентується на тому, що неналежне проведення очисних робіт доїльно-молочного обладнання може привести до істотного погіршення одержуваного молока. Проведені дослідження підтверджують дану теорію, дають змогу критично підійти до питання технологічного обслуговування молочного обладнання.

В подальшому визначали питому енергію миття молокопроводу. Так визначені розрахункові величини питомої енергії адгезії білково-жирових забруднень до молокопроводу з різних матеріалів (табл. 3). Встановлено, що зі збільшенням проміжку часу після закінчення доїння корів до початку миття молокопроводу питома енергія його очищення підвищується (рис. 7). Проведені дослідження засвідчують той факт, що неприпустимо допускати значних відстрочок в догляді за молочною лінією доїльної установки після доїння корів.

Проведені дослідження вигідно вирізняються серед інших [40–42] своєю комплексністю, застосуванням інноваційних підходів, масштабністю. Поряд з цим, через значну варіабельність конструктивних матеріалів, які притаманні доїльному обладнанню, виникають труднощі у вирішенні питання повного очищення від забруднення. Це залишається проблемною частиною у загальному технологічному процесі одержання високоякісного молока.

Результати досліджень узгоджуються з дослідженнями інших авторів, здійсненими раніше в області розробок техніко-технологічних засобів та технологій для молочного скотарства [43–45], доповнюють їх. Суттєвою різницею в методичному плані проведених досліджень було те, що максимально враховано параметри, які впливають на ефективність очищення доїльно-молочного обладнання від забруднення. Цим створена можливість вивчати та обґрунтувати оптимальні параметри очищення молочного устаткування.

Обмеження результатів полягає у складності щодо встановлення ефективності очищення молокопровідних систем за використання сучасних мийних засобів. Наявність на сьогодні великої кількості засобів зумовлює подальше виявлення їх ефективної дії.

При великому асортименті засобів для очищення доїльно-молочного обладнання виникає необхідність у проведенні подальших досліджень в області

вибору мийних препаратів. Тому перспективними вбачаються дослідження, спрямовані на встановлення механізму взаємодії елементів доїльного обладнання із сучасними засобами для очищення. Це дасть змогу розширити область як теоретичних так і практичних знань у молочному скотарстві, що слугуватиме передумовою до раціонального використання доїльного обладнання.

7. Висновки

1. Молокопровід з будь-якого матеріалу краще очищається більш гарячим мийним розчином, ніж холодним. Так, при збільшенні температури мийного розчину від 60 °C до 85 °C час очищення молокопроводу скорочується з 9,5 хв до 1,5 хв або в 6 разів.

2. За час фази миття молокопроводу відбувається значне зменшення температури мийного розчину ($\approx 30\%$), що знижує ефективність очищення деталей доїльно-молочної системи.

3. Питома енергія адгезії забруднення у воді в 2 рази вище, ніж в мийному розчині. З підвищенням температури розчину на кожні 10 °C зниження питомої енергії адгезії забруднень складає в середньому 13 %. Зі збільшенням проміжку часу після закінчення доїння корів до початку промивання молокопроводу доїльної системи питома енергія його очищення підвищується.

Література

1. Hogenboom, J. A., Pellegrino, L., Sandrucci, A., Rosi, V., D'Incecco, P. (2019). Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (9), 7640–7654. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16013>
2. Islam, M., Islam, M., Khan, M., Rashid, M., Obaidullah, S. (1970). Effect Of Different Hygienic Condition During Milking On Bacterial Count Of Cows' Milk. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 38 (1-2), 108–114. doi: <https://doi.org/10.3329/bjas.v38i1-2.9919>
3. Bava, L., Zucali, M., Sandrucci, A., Brasca, M., Vanoni, L., Zanini, L., Tamburini, A. (2011). Effect of cleaning procedure and hygienic condition of milking equipment on bacterial count of bulk tank milk. *Journal of Dairy Research*, 78 (2), 211–219. doi: <https://doi.org/10.1017/s002202991100001x>
4. Pandey, N., Kumari, A., Varma, A. K., Sahu, S., Akbar, M. A. (2014). Impact of applying hygienic practices at farm on bacteriological quality of raw milk. *Veterinary World*, 7 (9), 754–758. doi: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2014.754-758>
5. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y. et. al. (2021). Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (109)), 43–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927>
6. Крушельницька, Н. В. (2013). Вплив санітарної обробки доїльного устаткування та технології доїння корів на гігієнічну якість молока. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*, 15 (1 (55)), 93–97.

7. Paliy, A., Naumenko, A., Paliy, A., Zolotaryova, S., Zolotarev, A., Tarasenko, L. et. al. (2020). Identifying changes in the milking rubber of milking machines during testing and under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (107)), 127–137. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212772>
8. Latorre, A. A., Van Kessel, J. S., Karns, J. S., Zurakowski, M. J., Pradhan, A. K., Boor, K. J. et. al. (2010). Biofilm in milking equipment on a dairy farm as a potential source of bulk tank milk contamination with *Listeria monocytogenes*. *Journal of Dairy Science*, 93 (6), 2792–2802. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2717>
9. Палій А. П. (2016). Вдосконалення технологічного прийому очищення доїльно-молочного обладнання. *Науково-технічний бюлетень*, 116, 104–108.
10. Ohnstad, I. (2013). Effective cleaning of the milking machine. *Livestock*, 18 (1), 28–31. doi: <https://doi.org/10.1111/j.2044-3870.2012.00174.x>
11. Wang, X., Demirci, A., Graves, R. E., Puri, V. M. (2019). Conventional and Emerging Clean-in-Place Methods for the Milking Systems. *Raw Milk*, 91–115. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810530-6.00005-5>
12. Жмырко, А. М. (2005). Качество очистки деталей молокопровода от загрязнений при его циркуляционной мойке. Совершенствование процессов и технических средств в АПК, 6, 62–65.
13. Calcante, A., Tangorra, F. M., Oberti, R. (2016). Analysis of electric energy consumption of automatic milking systems in different configurations and operative conditions. *Journal of Dairy Science*, 99 (5), 4043–4047. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10490>
14. Boguniewicz-Zablocka, J., Klosok-Bazan, I., Naddeo, V. (2017). Water quality and resource management in the dairy industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (2), 1208–1216. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0608-8>
15. Алієв, Е. Б., Яропуд, В. М., Гаврильченко, О. С., Костеніков, О. О. (2019). Автоматизована система керування технологічним процесом доїння. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 3 (106), 5–12. doi: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2019-3-1>
16. Dmytriv, V. (2020). Model of forced turbulence for pulsing flow. *Diagnostyka*, 21 (1), 89–96. doi: <https://doi.org/10.29354/diag/118651>
17. Willers, C. D., Ferraz, S. P., Carvalho, L. S., Rodrigues, L. B. (2014). Determination of indirect water consumption and suggestions for cleaner production initiatives for the milk-producing sector in a Brazilian middle-sized dairy farming. *Journal of Cleaner Production*, 72, 146–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.055>
18. Кирсанов, В. В., Матвеев, В. Ю. (2011). Энергоэффективная система промывки молокопроводов доильных установок. *Техника и оборудование для села*, 6, 20–21.
19. Santos, F. F., Queiroz, R. de C. S. de, Almeida Neto, J. A. de (2017). Evaluation of the application of Cleaner Production techniques in a dairy industry in Southern Bahia. *Gestão & Produção*, 25 (1), 117–131. doi: <https://doi.org/10.1590/0104-530x2234-16>

20. Jones, G. M. (2009). Cleaning and Sanitizing Milking Equipment. Virginia Cooperative Extension, 400–404.
21. Vaughn, C. (2004). Successful CIP Cleaning. ASME 2004 Citrus Engineering Conference. doi: <https://doi.org/10.1115/cec2004-5006>
22. Alvarez, N., Daufin, G., Gésan-Guiziou, G. (2010). Recommendations for rationalizing cleaning-in-place in the dairy industry: Case study of an ultra-high temperature heat exchanger. *Journal of Dairy Science*, 93 (2), 808–821. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2760>
23. Fan, M., Phinney, D. M., Heldman, D. R. (2015). Effectiveness of Rinse Water during In-Place Cleaning of Stainless Steel Pipe Lines. *Journal of Food Science*, 80 (7), E1490–E1497. doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12914>
24. Палій, А. П. (2016). Інновації у забезпеченні контролю чистоти молокопровідних систем доїльних установок. *Таврійський науковий вісник*, 95, 123–129.
25. Skarbye, A. P., Thomsen, P. T., Krogh, M. A., Svennesen, L., Østergaard, S. (2020). Effect of automatic cluster flushing on the concentration of *Staphylococcus aureus* in teat cup liners. *Journal of Dairy Science*, 103 (6), 5431–5439. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17785>
26. Палій, А. П. (2016). Визначення мийної дії розчинів для очищення молокопровідних систем. *Тваринництво України*, 9-10, 11–13.
27. Memisi, N., Moracanin, S. V., Milijasevic, M., Babic, J., Djukic, D. (2015). CIP Cleaning Processes in the Dairy Industry. *Procedia Food Science*, 5, 184–186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.052>
28. Kukhtyn, M., Berhilevych, O., Kravcheniuk, K., Shynkaruk, O., Horyuk, Y., Semaniuk, N. (2017). The influence of disinfectants on microbial biofilms of dairy equipment. *EUREKA: Life Sciences*, 5, 11–17. doi: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00423>
29. Verkholiuk, M. M., Peleno, R. A., Semaniuk, N. V. (2019). Development of a regime of disinfection of milking equipment and milk inventory with the acid detergent “Milkodez.” *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 21 (96), 153–157. doi: <https://doi.org/10.32718/nvlvet9627>
30. Gleeson, D., O’Brien, B., Jordan, K. (2013). The effect of using nonchlorine products for cleaning and sanitising milking equipment on bacterial numbers and residues in milk. *International Journal of Dairy Technology*, 66 (2), 182–188. doi: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12037>
31. Ostrov, I., Harel, A., Bernstein, S., Steinberg, D., Shemesh, M. (2016). Development of a Method to Determine the Effectiveness of Cleaning Agents in Removal of Biofilm Derived Spores in Milking System. *Frontiers in Microbiology*, 7. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01498>
32. Палій, А. П. (2016). Контроль очищення молокопровідної лінії на основі технологічних інновацій. *Вісник аграрної науки*, 94 (10), 26–29. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201610-05>

33. Березуцкий, В. И., Жмырко, А. М. (2001). Закономерности изменения температурного режима мойки молокопровода. Совершенствование процессов и технических средств в АПК, 3, 27–32.
34. Палій, А. П. (2015). Встановлення чинників, які впливають на процес промивання молокопроводу. Вісник Полтавської державної аграрної академії, 1-2, 80–83.
35. Marchand, S., De Block, J., De Jonghe, V., Coorevits, A., Heyndrickx, M., Herman, L. (2012). Biofilm Formation in Milk Production and Processing Environments; Influence on Milk Quality and Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11 (2), 133–147. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00183.x>
36. Enokidani, M., Kawai, K., Shinozuka, Y., Kurumisawa, T. (2020). A case study of improving milking cow performance and milking system performance with using a flow simulator. *Animal Science Journal*, 91 (1). doi: <https://doi.org/10.1111/asj.13389>
37. Hocevar, M., Jenko, M., Godec, M., Drobne, D. (2014). An overview of the influence of stainless-steel surface properties on bacterial adhesion. *Materials and technology*, 48 (5), 609–617.
38. Hilbert, L. R., Bagge-Ravn, D., Kold, J., Gram, L. (2003). Influence of surface roughness of stainless steel on microbial adhesion and corrosion resistance. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 52 (3), 175–185. doi: [https://doi.org/10.1016/s0964-8305\(03\)00104-5](https://doi.org/10.1016/s0964-8305(03)00104-5)
39. Палій, А. П. (2016). Дослідження процесу утворення забруднень на доїльно-молочному обладнанні. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва, 2 (129), 88–91.
40. Weber, M., Liedtke, J., Plattes, S., Lipski, A. (2019). Bacterial community composition of biofilms in milking machines of two dairy farms assessed by a combination of culture-dependent and –independent methods. *PLOS ONE*, 14 (9), e0222238. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222238>
41. Liu, Y., Wang, C., Shi, Z., Li, B. (2020). Optimization and Modeling of Slightly Acidic Electrolyzed Water for the Clean-in-Place Process in Milking Systems. *Foods*, 9 (11), 1685. doi: <https://doi.org/10.3390/foods9111685>
42. Monds, R. D., O'Toole, G. A. (2009). The developmental model of microbial biofilms: ten years of a paradigm up for review. *Trends in Microbiology*, 17 (2), 73–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.11.001>
43. Zheng, H., Jiménez-Flores, R., Everett, D. W. (2014). Lateral lipid organization of the bovine milk fat globule membrane is revealed by washing processes. *Journal of Dairy Science*, 97 (10), 5964–5974. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7951>
44. Палій, А. П. (2015). Аналіз вимог щодо режимів промивання молокопроводів доїльних установок. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, 157, 28–32.
45. Sutariya, S., Sunkesula, V., Kumar, R., Shah, K. (2018). Emerging applications of ultrasonication and cavitation in dairy industry: a review. *Cogent Food & Agriculture*, 4 (1), 1549187. doi: <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1549187>